Technical Note

Public Works Canada | Travaux publics Canada

Solar Programs Office (613) 998-9817

No. 18: October, 1983

Absorber Plate Temperature Response During Start-Up Conditions

1. SYNOPSIS

The temperature response of a collector absorber plate during start-up conditions is modelled using two analytic equations. One equation is for the period when the pump is off and incident radiation is heating the collector. The second equation is for the period when heat transfer fluid is circulating through the collector and heat is being transferred from the absorber to the fluid. The heating and cooling responses are based on exponential growth and decay functions respectively.

An understanding of the plate temperature response will enable system designers to optimize control settings and improve the energy collection potential of solar heating systems. Future Technical Notes will examine the impact of this analysis on collector and system performance.

2. INTRODUCTION

A temperature sensor fastened to the collector absorber plate is used in the control strategy of most solar heating systems to start and stop the circulation pump(s). When the temperature differential between the solar storage tank and the collector absorber plate reaches a predetermined level set at the controller, the pump turns on and circulates heat transfer fluid through the collector. A better understanding of how the absorber plate temperature responds to start up conditions will enable system designers to optimize the controller differential temperature settings and maximize energy collection.

This Technical Note details the development of analytical equations as a method that can be used to model temperature changes in a collector absorber plate. The equations can also be used to predict the maximum collector temperature and the time to reach steady state conditions for various levels of incident radiation. The method is equally suitable for drain back and closed loop systems. Since the thermal mass of a drain back system is less than that of a closed loop system, the drain back system can be expected to heat and cool at a more rapid rate.

The start-up of a solar heating system follows two distinct phases. The initial phase is when the pump is off and the collector (and the heat transfer fluid in a closed loop system) heats up from radiation incident on the collector. The collector heats up until the "on" differential setting is reached and the pump turns on. The second phase of start up begins as the heat transfer fluid, which is cooler than the absorber plate, enters the collectors. The plate temperature suddenly falls when the heat contained in the collector is transferred to the circulating fluid. If the fall in plate temperature is sufficient to drop the differential temperature below the "off" differential setting, the pump shuts off until the level of incident radiation is sufficient to start the pump again.

3. NOMENCLATURE

a_i - ratio of the top loss coefficient to the loss coefficient from the ith cover to the surroundings

Cp - specific heat of the heat transfer fluid, J/(kg.°C)

$\dot{m}$ - mass flow rate of the heat transfer fluid, kg/s

$(mc)_c$ - thermal capacitance of the cover(s), J/°C

$(mc)_e$ - effective thermal capacitance of the plate, fluid and cover(s), J/°C

$(mc)_f$ - thermal capacitance of the heat transfer fluid, J/°C

$(mc)_p$ - thermal capacitance of the absorber plate, J/°C

t	-	time, s
Ac	-	collector area, m^2
F_R	-	heat removal factor
F"	-	collector flow factor
Qu	-	average useful solar energy gain, J/S (per m^2)
S	-	absorbed solar energy ($\tau\alpha I$), W/m^2
Ta	-	ambient temperature, °C
Tc	-	cover temperature, °C
Tf	-	heat transfer fluid temperature, °C
Tfm	-	mean fluid temperature, °C
Tin	-	inlet temperature to the collector, °C
Tout	-	outlet temperature from the collector, °C
Tp	-	plate temperature, °C
Tpo	-	initial plate temperature, °C
Tpm	-	mean plate temperature, °C
Uca	-	heat loss coefficient from the cover to the ambient, $W/(m^2.°C)$
U_L	-	overall heat loss coefficient, $W/(m^2.°C)$
Upc	-	heat loss coefficient from the plate to the cover, $W/(m^2.°C)$
Upf	-	heat loss coefficient from the plate to the fluid, $W/(m^2.°C)$
εp	-	absorber plate emittance

4. HEATING OF THE COLLECTOR WITH THE PUMP OFF AND NO FLOW

4.1 Assumptions

1. The heat loss from the back and the sides of the collector is considered minimal compared to the top loss.

2. Both the plate temperature and the cover temperature change at the same rate with respect to the ambient temperature.

3. Both S ($\tau\alpha I$) and Ta remain constant during the start up of the solar system.

4. The absorptance of the cover is considered to be zero in the solar spectrum.

5. The thermal capacitance of the fluid and the back insulation are included with the thermal capacitance of the plate.

4.2 Energy Balance on the Collector Absorber Plate, Fluid and Back Insulation

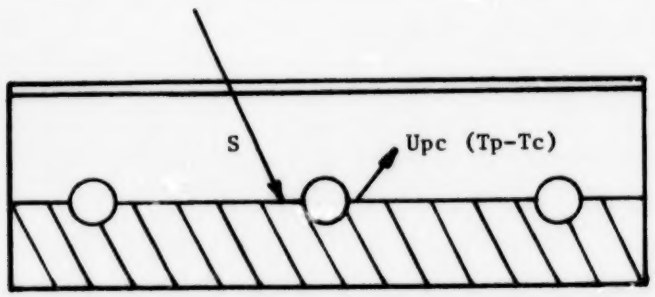

Figure 1 - Energy Balance on the Absorber Plate Fluid and Back Insulation

$$\left[(mc)_p + (mc)_f\right] \frac{dTp}{dt} = Ac \left[S - Upc\ (Tp - Tc)\right] \quad 1$$

4.3 Energy Balance on the Cover

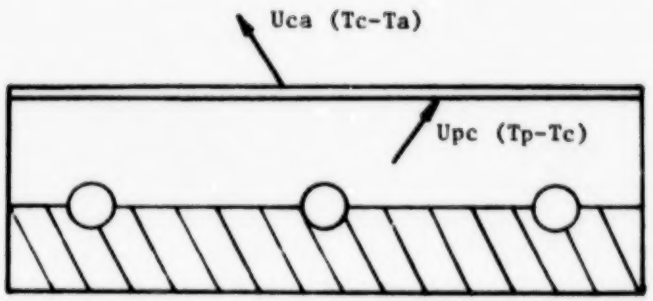

Figure 2 - Energy Balance on the Cover Plate

$$(mc)_c \frac{dTc}{dt} = Ac \left[Upc\ (Tp - Tc) - Uca\ (Tc - Ta)\right] \quad 2$$

4.4 If we assume $\frac{(Tc - Ta)}{(Tp - Ta)}$ remains constant during start-up, then:

$$Uca\ (Tc - Ta) = U_L\ (Tp - Ta) \quad 3$$

where the back and side losses are assumed to be zero.

For Ta constant, differentiate 3 with respect to time:

$$\frac{dTc}{dt} = \frac{U_L}{Uca} \frac{dTp}{dt} \quad 4$$

Combining 1, 2, 3 and 4 we get,

$$\left[(mc)_p + (mc)_f + \frac{U_L}{Uca} (mc)_c\right] \frac{dTp}{dt} = Ac \left[S - U_L\ (Tp - Ta)\right] \quad 5$$

4.5 $(mc)_p + (mc)_f + \frac{U_L}{Uca} (mc)_c$ can be simplified to the following:

$$(mc)_e = (mc)_p + (mc)_f + \sum_{i=1}^{n} a_i (mc)_{c,i} \qquad 6$$

where n = number of covers.

Covers	a_i	$\varepsilon p=0.95$	$\varepsilon p=0.50$	$\varepsilon p=0.10$
1	a_1	0.27	0.21	0.13
2	a_1	0.15	0.12	0.09
	a_2	0.62	0.53	0.40
3	a_1	0.14	0.08	0.06
	a_2	0.45	0.40	0.31
	a_3	0.75	0.67	0.53

Table 1: Constants for Use in Equation 6

Reference: Duffie, John A. and Beckman, William A.
"Solar Engineering of Thermal Processes"
John Wiley and Sons Inc., Toronto, 1980
Pg. 231.

4.6 Integrating $\frac{dTp}{dt}$ yields:

$$\frac{S - U_L (Tp - Ta)}{S - U_L (Tpo - Ta)} = \exp - (AcU_L t/(mc)_e) \qquad 7$$

Solving from Tp yields:

$$Tp = Ta + \frac{S}{U_L} - \left[\frac{S}{U_L} - (Tpo - Ta)\right] \exp\left(AcU_L t/(mc)_e\right) \qquad 8$$

where t is the time for each increment

NOTE: For the first time step, Tpo = Ta
For all remaining time steps, $(Tpo)_m = (Tp)_{m-1}$
where m is the number of iterations

5. COOLING OF THE COLLECTOR WITH THE PUMP ON AND HEAT TRANSFER FLUID CIRCULATING

5.1 Assumptuions

1. All assumptions are as in 4.1

2. The thermal capacitance of the heat transfer fluid is considered separately.

5.2 Energy Balance of the Fluid in the Collector

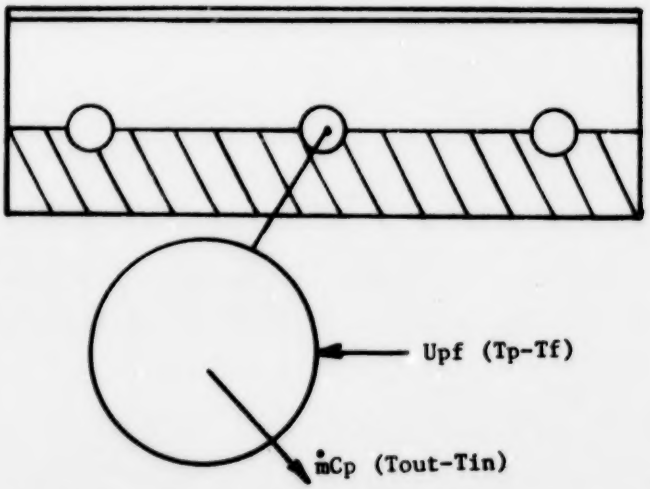

Figure 3 - Energy Balance on the Heat Transfer Fluid

$$(mc)_f \frac{dTf}{dt} = Ac \left[Upf\ (Tp - Tf) - \dot{m}c_p\ (Tout - Tin) \right] \qquad 9$$

5.3 The mean fluid temperature is:

$$Tfm = Tin + \frac{Qu/Ac}{U_L F_R} (1 - F") \qquad 10$$

The mean plate temperature is:

$$Tpm = Tin + \frac{Qu/Ac}{U_L F_R} (1 - FR) \qquad 11$$

Combining 10 and 11:

$$\frac{Tfm - Tin}{(1 - F")} = \frac{Tpm - Tin}{(1 - FR)} \qquad 12$$

Assuming the fluid inlet temperature is constant for startup conditions, then:

$$\frac{dTfm}{dt} = \frac{dTpm}{dt} \left[\frac{1 - F"}{1 - FR} \right] \qquad 13$$

5.4 Combining equations 1, 2, 9 and 13 yields:

$$(mc)_p + \frac{U_L}{Uca} (mc)_c + \left[\frac{1-F"}{1-FR} \right] (mc)_f \frac{dTp}{dt} = Ac \left[S - U_L\ (Tp-Ta) - \dot{m}c_p (Tout-Tin) \right] \qquad 14$$

NOTE: Equation 1 does not include the thermal capacitance of the fluid as in Section 4. The thermal capacitance of the fluid is dealt with separately in equation 9.

5.5 Getting Tout in terms of Tp:

$$Tfm = Tout + \frac{Qu/Ac}{U_L F_R} (1 - F") \qquad 15$$

Combining equations 10 and 11:

$$Tfm - \frac{Qu/Ac}{U_L F_R} (1 - F") = Tpm - \frac{Qu/Ac}{U_L F_R} (1 - FR) \qquad 16$$

Combining 15 and 16:

$$Tout = Tpm - \frac{Qu/Ac}{U_L F_R} \left[2F" - FR - 1\right] \qquad 17$$

5.6 Combining 6, 14 and 17 yields:

$$\left[(mc)_e + \left[\frac{1-F"}{1-F_R}\right](mc)_f\right]\frac{dTp}{dt} = Ac\left[S - U_L Tp + U_L Ta + \dot{m}c_p\, Tin - \dot{m}c_p\, Tp + \dot{m}c_p \frac{Qu/Ac}{U_L F_R}\left[2F" - FR - 1\right]\right] \qquad 18$$

Separating variables and integrating yields:

$$\frac{S - U_L(Tp-Ta) - \dot{m}c_p\,(Tp-Tin) + \dot{m}c_p \frac{Qu}{AcU_L F_R}\,(2F"-FR-1)}{S - U_L(Tpo-Ta) - \dot{m}c_p\,(Tpo-Tin) + \dot{m}c_p \frac{Qu}{AcU_L F_R}\,(2F"-FR-1)} = \exp -\left[\frac{Ac\dot{m}c_p + AcU_L}{(mc)_e + \left[\frac{1-F"}{1-F_R}\right](mc)_f}\right]t \qquad 19$$

Solving for Tp:

$$Tp = A \exp(-Ct) + B \qquad 20$$

where:

$$A = \frac{S - UL\,(Tpo - Ta) - \dot{m}c_p\,(Tpo - Tin) + \frac{\dot{m}c_p Qu}{AcU_L F_R}\left[2F'' - FR - 1\right]}{-U_L - \dot{m}c_p}$$

$$B = \frac{S + \frac{\dot{m}c_p Qu}{AcU_L F_R}\left[2F'' - FR - 1\right] + U_L Ta + \dot{m}c_p\,Tin}{U_L + \dot{m}c_p}$$

$$C = -\frac{Ac\dot{m}c_p + AcUL}{(mc)_e + \left[\frac{1-F''}{1-F_R}\right](mc)_f}$$

6. APPLICATION

The response of the collector plate temperature during start-up is modelled using two equations which are dependent on basic collector parameters and site specific environmental conditions. By examining the performance of a collector during start up conditions a designer can tailor the differential control settings to suit the given system. This can lead to longer operating times and better system performance.

Equation 8 provides a means of calculating the plate temperature prior to circulation of heat transfer fluid. Equation 8 can be used with any interval of integration (t). The value of t should be kept constant for all incremental calculations during the heating cycle with no circulation of fluid. A more precise temperature profile of Tp can be obtained by making the interval of integration (t) as small as possible. The need for a more precise solution should be weighed against the time required to perform the additional calculations. A typical value of t for this phase of the heating cycle is 60 seconds. For the first iteration, the initial plate temperature, Tpo, should be equal to the ambient temperature. For each successive iteration, the plate temperature from the previous iteration should be used as the initial plate temperature.

Equation 20 can then be used to model the absorber plate temperature during the period of start up when heat transfer fluid is circulated through the collectors. The final plate temperature calculated using Equation 8 should be used as the initial plate temperature for first iteration when using Equation 20. A different time increment can be used in Equation 20. There is a rapid drop in plate temperature immediately following circulation of fluid through the collectors. For this reason a time increment of approximately 10 seconds is recommended. Again this value of t should be kept constant for all calculations in this regime.

The average useful solar energy gain, Qu, can be derived from a WATSUN or a FCHART computer simulation. A typical value of Qu might be 250 J/s (per m^2) (2 GJ/year/m^2).

7. EXAMPLE

An example of the plate temperature response versus time during the start up of a solar system is shown in Figure 4. The input data used to generate Figure 4 were as follows:

Input

Ta	-	0°C
S	-	5 W/m^2
U_L	-	8 W/(m^2.°C)
Ac	-	6 m^2
$(mc)_e$	-	48 000 J/°C
$(mc)_f$	-	12 000 J/°C
F_R	-	.8
F"	-	.98
m	-	.2 kg/s
Cp	-	4190 J/(kg.°C)
Qu	-	150 J/s (per m^2)
Tin	-	10°C

Output

Heating Cycle		Cooling Cycle	
Elapsed Time (s)	Tp (°C)	Elapsed Time (s)	Tp (°C)
0	0.00	2050	14.16
300	5.33	2070	11.21
600	9.53	2090	10.82
900	12.83	2110	10.77
1200	15.43	2130	10.76
1500	17.47	2150	10.76
1800	19.08	2170	10.76
2040	20.11	2190	10.76

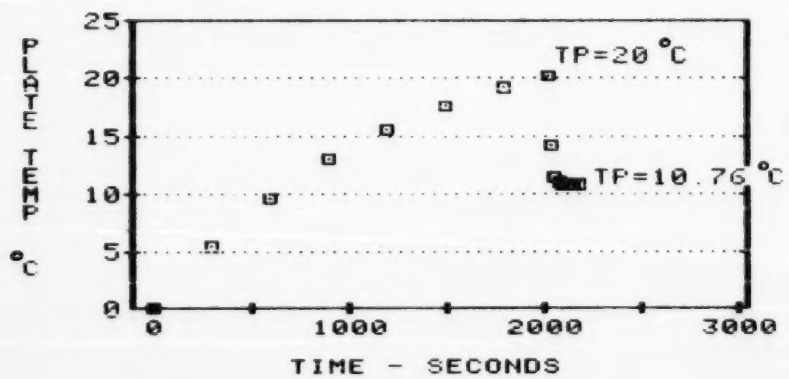

Figure 4 - Absorber Plate Temperature Response During Start up

Guide technique

Travaux publics Canada | Public Works Canada

Bureau des programmes solaires (613) 998-9817

N° 18: octobre 1983

Variations dans la température de l'absorbeur lors de la mise en marche

1. SYNOPSIS

Les variations dans la température de l'absorbeur d'un capteur lors de la mise en marche sont simulées à l'aide de deux équations analytiques. La première a trait au temps d'arrêt de la pompe et le rayonnement incident réchauffant le capteur. Quant à la seconde, elle porte sur la période de temps que le fluide caloporteur circule dans le capteur et que la chaleur est transmise de l'absorbeur au fluide. Les variations dans le chauffage et du refroidissement sont basées respectivement sur des fonctions exponentielles de croissance et de décroissance.

Une compréhension des variations de température dans les absorbeurs permettra aux concepteurs de systèmes d'optimiser les commandes et d'accroître le potentiel du stockage de l'énergie des systèmes de chauffage solaire. Les futurs Guides techniques permettront d'étudier les répercussions de cette analyse sur la performance des capteurs et des systèmes.

2. INTRODUCTION

On utilise un détecteur de température fixé à l'absorbeur du capteur dans la plupart des systèmes de chauffage solaire pour mettre en marche et arrêter la ou les pompes de circulation. Lorsque la différence entre la température du réservoir de stockage et celle de l'absorbeur atteint un niveau déterminé à l'avance dans le régulateur, la pompe se met en marche et fait circuler le fluide caloporteur dans le capteur. Une meilleure compréhension des variations dans la température de l'absorbeur lors de la mise en marche permettra aux concepteurs de systèmes d'optimiser le réglage des écarts de température et le stockage d'énergie.

Le présent Guide technique expose en détail l'établissement des équations analytiques en vue de simuler les changements de température dans un absorbeur. Ces équations peuvent également servir à prévoir la température de stagnation et le temps écoulé jusqu'à cette stagnation pour divers degrés de rayonnement incident. Elle convient aussi aux systèmes à vidange autonome et à circuit fermé. Puisque la masse thermique d'un système à vidange autonome est inférieure à celle d'un système à circuit fermé, on peut s'attendre à ce que le premier système connaisse un chauffage et un refroidissement plus rapides.

La mise en marche d'un système de chauffage solaire comporte deux phases distinctes. Dans la première phase, la pompe est arrêtée et le capteur (et le fluide caloporteur dans un système à circuit fermé) se réchauffe à partir du rayonnement reçu par le capteur. Ce dernier se réchauffe jusqu'à ce que le réglage différentiel de "marche" soit atteint et que la pompe se mette en marche. La seconde phase de la mise en marche débute lorsque le fluide caloporteur, qui est plus froid que l'absorbeur, pénètre dans les capteurs. La température de l'absorbeur tombe soudainement lorsque la chaleur du capteur est transmise au fluide. Si la baisse de température de l'absorbeur est suffisante pour faire tomber l'écart de température au-dessous du réglage d'"arrêt", la pompe s'arrête jusqu'à ce que le niveau de rayonnement incident soit suffisant pour la faire repartir.

3. NOMENCLATURE

a_i - le rapport entre le coefficient de la perte maximale et le coefficient de perte de la couverture à l'environnement

Cp - la chaleur massique du fluide caloporteur en J/(kg.°C)

$\dot{m}$ - le débit massique du fluide caloporteur en kg/s

$(mc)_c$ - la capacité thermique de la couverture en J/°C

$(mc)_e$ - la capacité thermique effective du collecteur, du fluide et de la couverture en J/°C

$(mc)_f$ - la capacité thermique du fluide caloporteur en J/°C

$(mc)_p$ - la capacité thermique de l'absorbeur en J/°C

t - le temps, en s

Ac - la surface active en m^2

F_R - le facteur d'extraction thermique

F" - le facteur du débit du capteur

Qu - le gain d'énergie solaire utile moyen en J/s (par m^2)

S - l'énergie solaire absorbée ($\tau\alpha I$), en W/m^2

Ta - la température ambiante en °C

Tc - la température de la couverture en °C

Tf - la température du fluide caloporteur en °C

Tfm - la température moyenne du fluide caloporteur en °C

Tin - la température à l'entrée du capteur en °C

Tout - la température à la sortie du capteur en °C

Tp - la température de l'absorbeur en °C

Tpo - la température initiale de l'absorbeur en °C

Tpm - la température moyenne de l'absorbeur en °C

Uca - le coefficient de perte thermique de la couverture au milieu ambiant en $W/(m^2.°C)$

U_L - le coefficient de perte thermique en $W/(m^2.°C)$

Upc - le coefficient de perte thermique de l'absorbeur de la couverture en $W/(m^2.°C)$

Upf - le coefficient de perte thermique de l'absorbeur au fluide caloporteur en $W/(m^2.°C)$

ε_p - le facteur d'émission de l'absorbeur

4. CHAUFFAGE DU CAPTEUR AVEC ARRÊT DE LA POMPE ET SANS ÉCOULEMENT

4.1 Hypothèses

1. Les pertes de chaleur à l'arrière et sur les côtés du capteur sont considérées comme minimes comparées avec la perte en haut.

2. La température de l'absorbeur et de la couverture changent à la même vitesse que la température ambiante.

3. $S(\tau\alpha I)$ et Ta demeurent constantes pendant la mise en marche du système solaire.

4. Le facteur d'absorption de la couverture est considéré comme nul dans le spectre solaire.

5. La capacité thermique du fluide et l'isolant arrière sont inclus dans la capacité thermique de l'absorbeur.

4.2 Équilibre énergétique dans l'absorbeur, le fluide caloporteur et l'isolant arrière

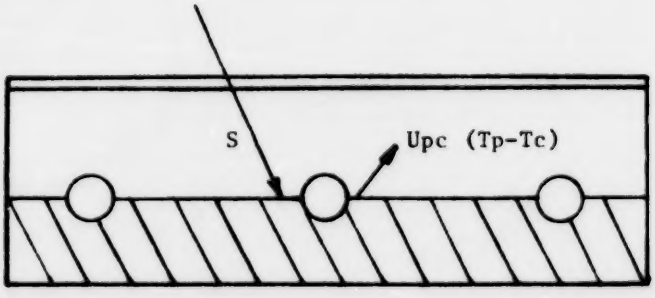

Figure 1 - Équilibre énergétique dans l'absorbeur et l'isolant arrière

$$\left[(mc)_p + (mc)_f\right] \frac{dTp}{dt} = Ac \left[S - Upc\ (Tp - Tc)\right] \qquad 1$$

4.3 Équilibre énergétique dans la couverture

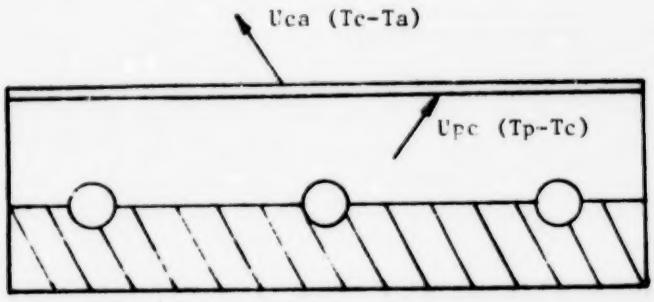

Figure 2 - Équilibre énergétique dans la couverture

$$(mc)_c \frac{dTc}{dt} = Ac \quad Upc\ (Tp - Tc) - Uca\ (Tc - Ta) \qquad 2$$

4.4 Si nous supposons que $\frac{(Tc - Ta)}{(Tp - Ta)}$ demeure constante lors de la mise en marche, nous obtenons:

$$Uca\ (Tc - Ta) = U_L\ (Tp - Ta) \qquad 3$$

où les pertes arrières et latérales sont censées être nulles.

Pour Ta constante, on doit différencier 3 en ce qui a trait au temps:

$$\frac{dTc}{dt} = \frac{U_L}{Uca} \frac{dTp}{dt} \qquad 4$$

En combinant 1, 2, 3 et 4, nous obtenons:

$$\left[(mc)_p + (mc)_f + \frac{U_L}{Uca} (mc)_c\right] \frac{dTp}{dt} = Ac \left[S - U_L\ (Tp - Ta)\right] \qquad 5$$

4.5 $(mc)_p + (mc)_f + \frac{U_L}{Uca} (mc)_c$ peut être simplifiée ainsi:

$$(mc)_e = (mc)_p + (mc)_f + \sum_{i=1}^{n} a_i (mc)_{c,i} \qquad 6$$

où n = le nombre de vitrages.

Vitrages	a_i	ε_p=0,95	ε_p=0,50	ε_p=0,10
1	a_1	0,27	0,21	0,13
2	a_1	0,15	0,12	0,09
	a_2	0,62	0,53	0,40
3	a_1	0,14	0,08	0,06
	a_2	0,45	0,40	0,31
	a_3	0,75	0,67	0,53

Tableau 1: Constantes utilisées dans l'équation 6

Ouvrage de référence: Duffie, John A. and Beckman, William A.
"Solar Engineering of Thermal Processes"
John Wiley and Sons Inc., Toronto, 1980
P. 231.

4.6 En intégrant $\frac{dTp}{dt}$, on obtient:

$$\frac{S - U_L (Tp - Ta)}{S - U_L (Tpo - Ta)} = \exp - (AcU_L t/(mc)_e) \qquad 7$$

En résolvant l'équation à partir de Tp, on obtient l'équation suivante:

$$Tp = Ta + \frac{S}{U_L} - \left[\frac{S}{U_L} - (Tpo - Ta)\right] \exp\left(AcU_L t/(mc)_e\right) \qquad 8$$

où t est le temps pour chaque incrément.

NOTA: Pour le premier laps de temps, Tpo = Ta
Pour toutes les autres laps de temps, $(Tpo)_m = (Tp)_{m-1}$
où m est le nombre d'itérations.

5. REFROIDISSEMENT DU CAPTEUR AVEC ARRÊT DE LA POMPE ET CIRCULATION DU FLUIDE CALOPORTEUR

5.1 Hypothèse

1. Toutes les hypothèse sont identiques à celles du paragraphe 4.1.

2. La capacité thermique du fluide caloporteur est envisagée séparément.

5.2 Équilibre énergétique du fluide caloporteur du capteur

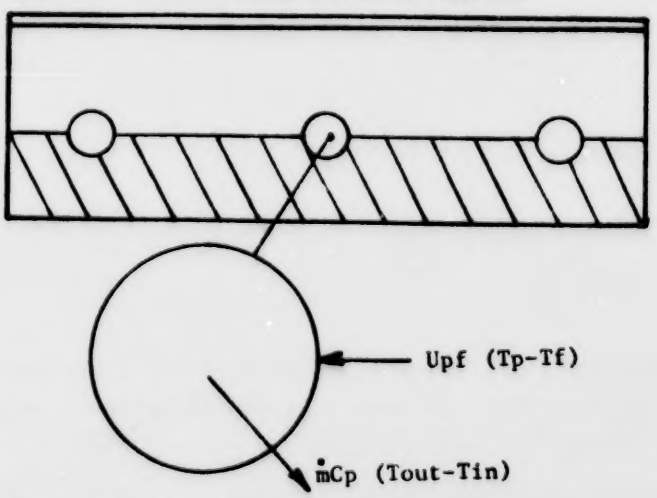

Figure 3 - Équilibre énergétique du fluide caloporteur du capteur

$$(mc)_f \quad \frac{dTf}{dt} = Ac \left[Upf\ (Tp - Tf) - mc_p\ (Tout - Tin) \right] \qquad 9$$

5.3 La température moyenne du fluide caloporteur est donnée par l'équation:

$$Tfm = Tin + \frac{Qu/Ac}{U_L F_R} (1 - F") \qquad 10$$

La température moyenne de l'absorbeur équivant à:

$$Tpm = Tin + \frac{Qu/Ac}{U_L F_R} (1 - FR) \qquad 11$$

En combinant les équations 10 et 11, on obtient:

$$\frac{Tfm - Tin}{(1 - F")} = \frac{Tpm - Tin}{(1 - FR)} \qquad 12$$

En supposant que la température du fluide à l'entrée soit constante pendant la mise en marche:

$$\frac{dTfm}{dt} = \frac{dTpm}{dt} \left[\frac{1 - F"}{1 - FR} \right] \qquad 13$$

5.4 Combinons les équations 1, 2, 9 et 13:

$$(mc)_p + \frac{U_L}{Uca} (mc)_c + \left[\frac{1-F"}{1-FR} \right] (mc)_f \frac{dTp}{dt} = Ac \left[S - U_L\ (Tp-Ta) - \dot{m}c_p (Tout-Tin) \right] \qquad 14$$

NOTA: L'équation 1 ne comporte pas la capacité thermique du fluide comme dans le paragraphe 4. Il sera question de celle-ci séparément dans l'équation 9.

5.5 Pour obtenir Tout en termes de Tp, on établit l'équation suivante:

$$Tfm = Tout + \frac{Qu/Ac}{U_L F_R} (1 - F") \qquad 15$$

Combinons les équations 10 et 11:

$$Tfm - \frac{Qu/Ac}{U_L F_R} (1 - F") = Tpm - \frac{Qu/Ac}{U_L F_R} (1 - FR) \qquad 16$$

Combinons maintenant les équations 15 et 16:

$$Tout = Tpm - \frac{Qu/Ac}{U_L F_R} \left[2F" - FR - 1\right] \qquad 17$$

5.6 En combinant les équations 6, 14 et 17, on obtient:

$$\left[(mc)_e + \left[\frac{1-F"}{1-F_R}\right](mc)_f\right] \frac{dTp}{dt}$$
$$= Ac\left[S - U_L Tp + U_L Ta + \dot{m}c_p\, Tin - \dot{m}c_p\, Tp + \dot{m}c_p \frac{Qu/Ac}{U_L F_R} \left[2F" - FR - 1\right]\right] \qquad 18$$

Séparons les variables et intégrons les résultats:

$$\frac{S - U_L(Tp-Ta) - \dot{m}c_p\,(Tp-Tin) + \dot{m}c_p \frac{Qu}{AcU_L F_R}\,(2F"-FR-1)}{S - U_L(Tpo-Ta) - \dot{m}c_p\,(Tpo-Tin) + \dot{m}c_p \frac{Qu}{AcU_L F_R}\,(2F"-FR-1)}$$

$$= \exp - \left[\frac{Ac\dot{m}c_p + AcU_L}{(mc)_e + \left[\frac{1-F"}{1-F_R}\right](mc)_f}\right] t \qquad 19$$

Résolvons l'équation Tp:

$$Tp = A \exp(-Ct) + B \qquad 20$$

où:

$$A = \frac{S - UL\,(Tpo - Ta) - \dot{m}c_p\,(Tpo - Tin) + \frac{\dot{m}c_p Qu}{AcU_L F_R}\left[2F'' - FR - 1\right]}{-U_L - \dot{m}c_p}$$

$$B = \frac{S + \frac{\dot{m}c_p Qu}{AcU_L F_R}\left[2F'' - FR - 1\right] + U_L Ta + \dot{m}c_p\,Tin}{U_L + \dot{m}c_p}$$

$$C = -\frac{Ac\dot{m}c_p + AcUL}{(mc)_e + \left[\frac{1-F''}{1-F_R}\right](mc)_f}$$

6. APPLICATION

Les variations de température de l'absorbeur au démarrage sont simulées à l'aide de deux équations qui dépendent des paramètres fondamentaux du capteur et des conditions environnementales spécifiques. En examinant la performance d'un capteur lors de la mise en marche, un concepteur peut adapter les réglages des différences de température à un système donné. Cela peut permettre d'obtenir des durées de fonctionnement plus longues et une meilleure performance du système.

L'équation 8 permet de calculer la température de la l'absorbeur avant la circulation du fluide caloporteur. On peut utiliser l'équation 8 avec tout intervalle d'intégration (t). On devrait garder la valeur de t constante pour tous les calculs des accroissements pendant le cycle de chauffage sans circulation de fluide. Les caractériques de Tp peuvent être obtenues en prenant l'intervalle d'intégration (t) aussi petite que possible. Le besoin d'une solution plus précise doit être évalué en regard du temps requis pour effectuer les calculs supplémentaires. Une valeur typique de t pour cette phase du cycle de chauffage est de 60 secondes Pour la première itération, la température initiale de l'absorbeur, Tpo, devrait être égale à la température ambiante. Pour chaque itération successive, la température de l'absorbeur à partir de l'itération précédente devrait être utilisée comme température initiale de l'absorbeur.

On peut utiliser l'équation 20 pour modéliser la température de l'absorbeur à la mise en marche lorsque le fluide du caloporteur circule dans les capteurs. La température finale de l'absorbeur évaluée à l'aide de l'équation 8 devrait être utilisée comme température initiale de l'absorbeur pour la première itération, lorsqu'on se sert de l'équation 20. On peut utiliser un incrément de temps différent à l'équation 20. Il survient une chute rapide de température de l'absorbeur immédiatement après la circulation du fluide dans les capteurs. C'est pourquoi, on recommande d'utiliser un incrément de temps en environ 10 secondes. N'oublions pas que cette valeur de t devrait être maintenue constante pour tous les calculs dans ce régime.

Le gain de l'énergie solaire moyen, Qu, peut être dérivé à l'aide d'une simulation informatique WATSUN ou FCHART. Une valeur typique de Qu pourrait être de 250 J/s (par m^2) (2 GJ/an/m^2).

7. EXEMPLE

Un exemple de la réceptivité de la température du collecteur par rapport au temps durant la mise en route d'un système solaire est fourni à la figure 4. Les données utilisées sont:

Intrant

Ta	=	0°C
S	=	5 W/m^2
U_L	=	8 W/(m^2.°C)
Ac	=	6 m^2
(mc)e	=	48 000 J/°C
(mc)f	=	12 000 J/°C
F_R	=	.8
F"	=	.98
m	=	.2 kg/S
Cp	=	4190 J/(kg.°C)
Qu	=	150 J/s (par m^2)
Tin	=	10°C

Extrait

Cycle de chauffage		Cycle de refroidissement	
Durée de réalisation(s)	Tp (°C)	Durée de réalisation(s)	Tp (°C)
0	0.00	2050	14.16
300	5.33	2070	11.21
600	9.53	2090	10.82
900	12.83	2110	10.77
1200	15.43	2130	10.76
1500	17.47	2150	10.76
1800	19.08	2170	10.76
2040	20.11	2190	10.76

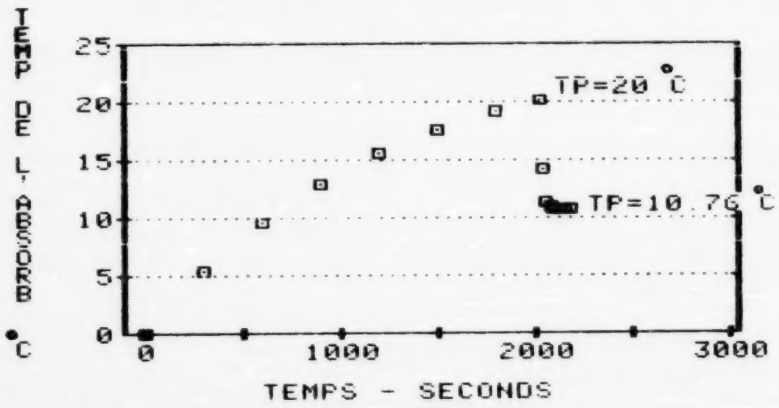

Figure 4 - Réceptivité du collecteur durant la mise en route